

# 時間分解 ARPES の開発と研究例

石田 行章  
東京大学 物性研究所

フェムト秒域パルスレーザーを ARPES の光源に用いることでポンプ・プローブ型の超高速時間分解 ARPES (TARPES) が可能となり、物質の表層における光現象を解明することができる。トポロジカル絶縁体やディラック電子系物質についての最近の研究例を紹介する。

**① 非占有側バンド分散の直接観測:** 電子を非占有側に分布させた瞬間をプローブすることで、通常 ARPES では見ることはできない非占有側のバンド分散を捉えることができる。この原理を利用して物質のトポロジカル相の分類を進めた。(1) トポロジカル絶縁体の表面には、バンドギャップを差し渡す特異な表面状態が現れる。このバンド分散の全容を捉えることで、V 族単体半金属のうち、調べのついていなかったヒ素をトポロジカル絶縁体と同定した [Zhang *et al.*, PRL **118**, 046802 (2017)]。(2) トポロジカル絶縁体の表面に特異な状態が現れるのと同様に、ワイル半金属の表面にはフェルミアーク状態が出現する。この表面状態を捉えることで (Mo,W)Te<sub>2</sub> [Belopolski *et al.*, Nature Commun. **7**, 13643 (2016)] と TaIrTe<sub>4</sub> [Belopolski *et al.*, Nature Commun. accepted] を II 型のワイル半金属に帰属した。

**② トポロジカル絶縁体表面における光機能の創出:** バルク絶縁性の高い TI の表面に光起電力 (SPV) が生じることを見出した [Ishida *et al.*, Sci. Rep. **5**, 8160 (2015)]。SPV は表層にバンド湾曲が発達するとき生じる。この現象を利用して、TI 表面にスピン偏極電流を光で誘起する新機能を提案した。この機能創成に向けて、巨大 (~0.1 V) SPV [Neupane *et al.*, PRL **115**, 116801 (2015)] および表面電流の方向を制御するのに必須となる両極性 SPV を実証した [Yoshikawa *et al.*, submitted]。

**③ ディラック電子系のダイナミクス:** ディラック電子系物質の高光強度下の光学特性が注目されている。ディラックコーンはあらゆる色の光を吸収することができる。この性質を利用してあらゆる色のレーザーをフェムト秒域パルスに変えることが実証されている。さらにディラックコーンの中で反転分布を実現できれば、あらゆる色でのレーザー発振への道も開ける。ディラック電子系の光励起現象を基礎付けることを念頭に、キャリアダイナミクスの研究を進めてきた。層状ディラック系において 2 温度モデルによる理解ができる場合があること (SrMnBi<sub>2</sub> [Ishida *et al.*, PRB **93**, 100302(R) (2016)]、その一方で多くの場合にこのモデルが破綻することが分ってきた (Graphite [Ishida *et al.*, Sci. Rep. **1**, 64 (2011)] 等)。また TI である Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> の表面ディラック分散において反転分布が 3 ps 持続することを見出した [Zhu *et al.*, Sci. Rep. **5**, 13213 (2015)]。

TARPES 測定は物性研究所辛研の装置 [Ishida *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **85**, 123904 (2014); Ishida *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **87**, 123902 (2016)] を用いて行われた。本研究は広島大木村研、Princeton 大 Hasan 研、茨城大伊賀研、東京大石渡研との共同研究です。